



УДК 621.43.013.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЗВУКОВОГО ТЕЧЕНИЯ В ПЛОСКОЙ ТУРБИННОЙ РЕШЕТКЕ В УСЛОВИЯХ СТЕНДА КАФЕДРЫ "ТУРБИНЫ И ДВИГАТЕЛИ

EXPERIMENTAL AND CALCULATED RESEARCH OF A DOUBLE FLOW IN A PLANE TURBINE LATCH UNDER CONDITIONS OF THE STAND OF THE DEPARTMENT OF "TURBINES AND ENGINES"

Разгон Денис Олегович, бакалавр каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: disetsky@mail.ru, Тел.: +7(996)171-66-62

Седунин Вячеслав Алексеевич, канд. техн. наук, доцент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: lerr@bk.ru. Тел.: +7(902)254-28-97

Denis O. Razgon, Bachelor, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: aleksandr_baleevskih@rambler.ru. Ph.: +7(996)171-66-62.

Vyacheslav A. Sedunin, Candidate Sc., Docent, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: lerr@bk.ru. Ph.: +7(902)254-28-97

Аннотация: Рассмотрены создание и продувка насадка с плоской турбинной решеткой. Проведен расчет этого насадка в ANSYS CFX. Построены и проанализированы картины распределения скоростей и графики перепадов давления по профилю.

Abstract: The creation and purging of a nozzle from a flat turbine lattice is considered. This nozzle is calculated in ANSYS CFX. The patterns of velocity distribution and pressure drop graphs along the profile are constructed and analyzed.

Ключевые слова: аэродинамический насадок; плоская турбинная решетка; продувка; ANSYS CFX; расчет потока.

Key words: aerodynamic nozzle; flat turbine grille; flow; ANSYS CFX; flow calculation.

ВВЕДЕНИЕ

Экспериментальное исследование обтекания тел турбулентным потоком остается основным подходом к изучению особенностей таких течений. Но по мере развития технологий стал доступен метод изучения обтекания тел потоком при помощи программного обеспечения, позволяющего решать задачи газовой гидродинамики, одной из которых является CFD-пакет ANSYS CFX. Применение расчётной газодинамики в турбомашиностроении способствует ускорению процесса проектирования, и при этом уменьшаются финансовые затраты.

Но данные методы не являются совершенными, так как турбулентные течения, возникающие в турбомашинах, в

настоящее время не рассчитываются напрямую, а моделируются с помощью полуэмпирических моделей турбулентности. Также существует зависимость решения от числа конечных элементов в расчетной области, что также является проблемой расчетного метода моделирования течения рабочего тела. Поэтому вопрос точности и правильности полученных при расчете параметров течения остается актуальным.

В ходе проведенной работы был сконструирован и изготовлен насадок с плоской турбинной решеткой профилей, осуществлена его продувка на аэродинамическом стенде, параллельно с продувкой проводился расчет в CFD-пакете ANSYS CFX. В результате проделанной работы были сняты показания

статического давления по профилю средней лопасти, проведено сравнение результатов продувки с результатами расчета в ANSYS CFX.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Целью данной работы являлось создание насадка с плоской турбинной решеткой профилей, продувка его в аэродинамической трубе в условиях стенда кафедры "Турбины и двигатели", снятие показаний статического давления из 8-ми точек, расположенных по профилю средней лопасти и верификация полученных данных в CFD-пакете ANSYS CFX. Были проведены анализ и сравнение результатов расчета и продувки.

КОНСТРУКЦИЯ НАСАДКА

В процессе конструирования насадка была построена его 3D модель в программном пакете SolidWorks, общий вид конструкции представлен на рис.1.

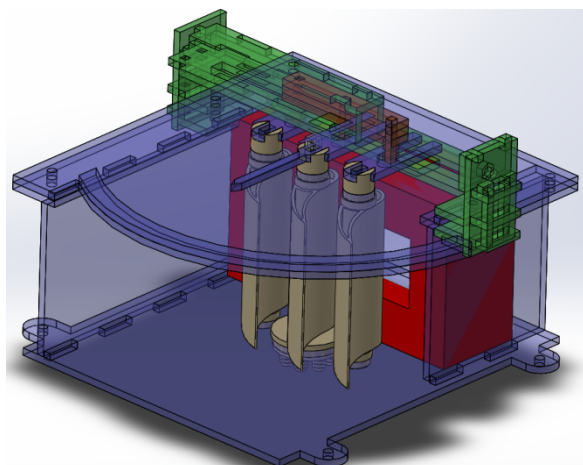


Рис. 1. Общий вид конструкции насадка.

Детали корпуса и поворотного механизма вырезались на лазерном станке из оргстекла толщиной 4мм. Лопатки и сужающее устройство печатались на 3D принтере из пластика.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

При проведении непосредственно продувки были произведены замеры параметров атмосферного воздуха, а именно атмосферное давление и температура воздуха. Замер атмосферного давления производился барометром-анероидом, замер температуры - ртутным термометром.

Продувка осуществлялась на 5 углов атаки, а именно на $\alpha = 0$, $\alpha = 10$, $\alpha = -10$, $\alpha = 20$ и $\alpha = -20$. За $\alpha = 0$ был принят такой угол установки лопаток, при котором точка съема показания давления, находящаяся на входной кромке, располагалась к потоку нормально и показывала полное давление. Замер показаний распределения давления по профилю осуществлялся с помощью батарейного водяного манометра. Показания статического и полного давления перед входом в насадок замерялись с помощью трубки Пито-Прандтля.

Перевод атмосферного давления из мм.рт.ст. в Па производился по барометрической формуле:

$$P = P_0 e^{\frac{-\mu g h}{kT}} = 98216,3 \text{ Па}, \quad (1)$$

где $h=280$ м - высота над уровнем моря, $\mu=0,029$ кг/моль - молярная масса воздуха, $k=8,31$ Дж/(мольК) - универсальная газовая постоянная, $g=9,81$ м/с² - ускорение свободного падения, $P_0=101300$ Па - давление воздуха над уровнем моря при н.у.

Перевод перепада давления из мм.в.ст. в Па производился по формуле:

$$\Delta P = \rho g h, \text{ Па} \quad (2)$$

где $\rho = \frac{P_{\text{атм.}}}{R \cdot T} = 1,145$ кг/м³ - плотность воздуха, $g=9,81$ м/с² - ускорение силы тяжести, h , мм - высота столба жидкости.

Показания водяного манометра представлены в таблице 1

Таблица 1.

Показания водяного манометра										
α, град	h, мм.в.ст.								Р _{ст} , Па	Р _{полн} , Па
	1	2	3	4	5	6	7	8		
-20	-6	-12	-20	-14	27	-12	-11	0	24	29
-10	-6	-7,5	-20	-26	29	-16	-5	5	24	29
0	-9	-8,5	-26	-37	34	-22	2	7,5	27	34
10	-10	-7	-25	-34	33	-8	1	8	27	34
20	-10	-2	-21	-12	29	8	8,5	7	26	31

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Для расчета параметров потока в ANSYS CFX была построена геометрия внутренней полости геометрии внутренней полости с разбитой сеткой представлен на рис.2.

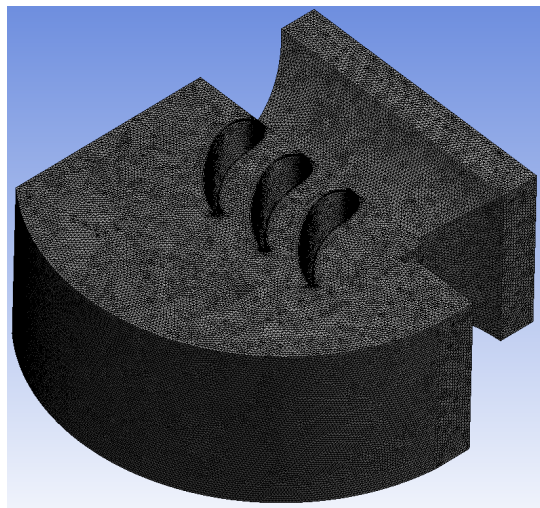


Рис. 2. Общий вид геометрии внутренней полости с построенной сеткой.

насадка и построена расчетная сетка, общее число элементов сетки 6,5 млн. Общий вид

На входе задавались полное давление потока, значение которого показывала трубка Пито-Прандтля, и полная температура, равная температуре атмосферного воздуха. На выходе задавались полные параметры атмосферного воздуха ($P_{полн.}$, T).

Расчет проводился на идеальном газе. В графе Heat Transfer задавалось Total Energy. Тип турбулентности - Shear Strees Transport. Расчет оканчивался при двух условиях, либо при достижении сходимости, равной 0,00001, либо при выполнении 1000 итераций. Значение Timescale Factor - 0,5. Ни одно решение не дошло до заданной в условии сходимости.

Результаты расчетов в ANSYS CFX и продувки сведены в таблицу 2. Перепады давления по профилю подсчитаны по формуле (2).

Таблица 2.

Результаты продувки расчета									
α , град		ΔP , Па							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Продувка	-20	-112,28	-22,46	-235,79	-134,74	325,61	89,82	95,44	78,60
	-10	-112,28	-78,60	-280,70	-381,75	370,52	-89,82	11,23	89,82
	0	-101,05	-95,44	-291,93	-415,43	381,75	-247,01	22,46	84,21
	10	-67,37	-84,21	-224,56	-291,93	314,38	-179,65	-56,14	56,14
	20	-67,37	-134,74	-224,56	-157,19	303,15	-134,74	-123,51	0,00
ANSYS CFX	-20	-57,10	12,60	53,30	-30,50	284,60	193,00	197,50	184,40
	-10	-74,80	-40,60	-116,40	-333,60	335,90	-23,70	85,60	125,80
	0	-67,60	-80,30	-238,00	-478,70	389,00	-284,40	15,70	95,50
	10	-65,70	-95,90	-280,30	-399,20	322,20	-385,00	-36,40	77,00
	20	-67,80	-112,40	-320,00	-277,70	285,80	-453,70	0,90	78,60

Распределение скоростей по профилю представлены на рис.3-5

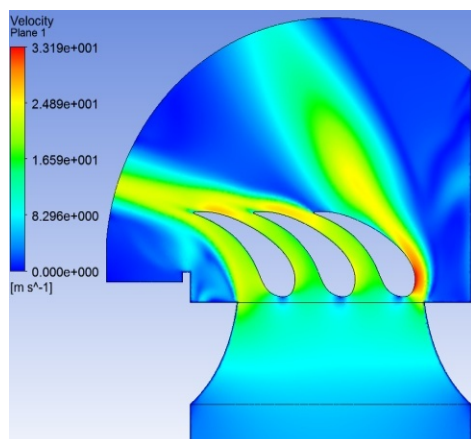


Рис. 3. Распределение скоростей при $\alpha = -20^\circ$

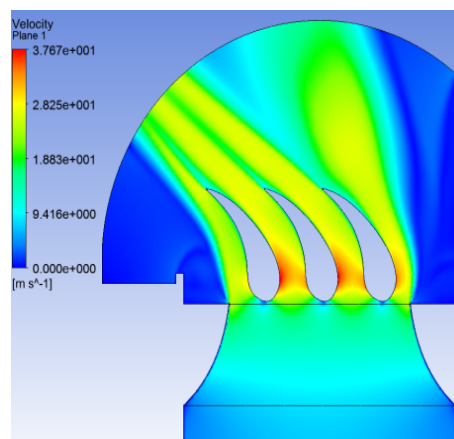
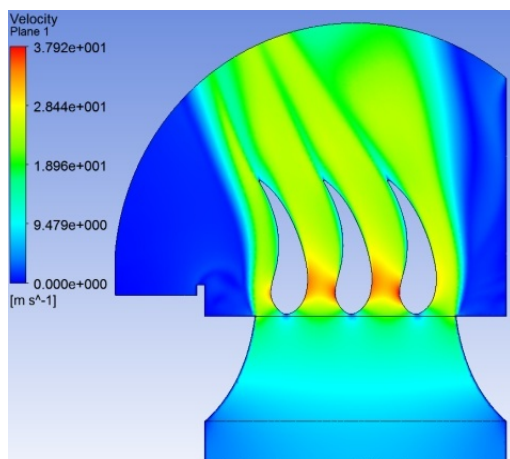


Рис. 4. Распределение скоростей при $\alpha = 0^\circ$

Рис. 5. Распределение скоростей при $\alpha = 20^\circ$

Следует заметить, что горло канала на всех углах атаки, кроме $\alpha = -20^\circ$, расположено в районе входной кромки, что для плоской турбинной решетки профилей абсолютно не правильно и не соответствует цели турбинной решетки. Эти режимы можно оставить только под предлогом верификации расчётных методов. Так же на углах атаки $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 10^\circ$ и $\alpha = 20^\circ$ видно, что зона максимальных скоростей имеет место не только на спинке лопатки, но и на корытце, что тоже не корректно для турбинной решетки.

Для сравнения результатов расчета с результатами продувки были построены графики перепадов давления по профилю, которые представлены на рис.6.

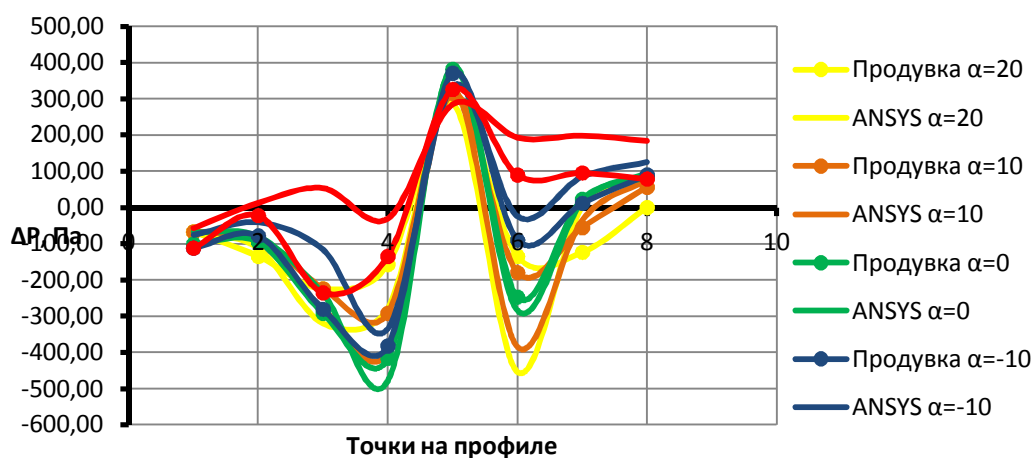


Рис. 6. График перепадов давления по профилю.

На данном графике перепадом давления является разница между показанием статического давления в точках и атмосферным. Если перепад имеет знак "-", то давление в точке недостаточное ($<P_{атм.}$), если имеет знак "+" - избыточное давление ($>P_{атм.}$). Давление со скоростью в точке связаны формулой (3)

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_{полн.} - P_{ст.т})}{\rho_{возд.}}}, \text{ м/с} \quad (3)$$

Из формулы видно, что, чем меньше показание статического давления в точке, тем больше в ней скорость потока. По графикам можно заметить, что с изменением угла атаки с $\alpha = -20^\circ$ до $\alpha = 20^\circ$ перепады давления на спинке лопатки (точки 1, 2, 3 на профиле) растут, а на корытце (точки 6, 7, 8) наоборот уменьшаются. Поэтому скорость на спинке возрастает по мере возрастания угла поворота потока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы была проведена продувка плоской турбинной решетки профилей и верификация полученных данных в ANSYS

CFX. Данные расчета и продувки имеют расхождения. В дальнейшем планируется добавление трубки Пито-Прандтля на выходе из насадки, для того, чтобы измерять показания полного и статического давления потока на выходе из решетки профилей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казанчан П. П., Караваев Б. В., Серков В. И., Шишкин В. Н. Обобщение результатов продувок плоских компрессорных решеток методом регрессионного анализа: Труды ЦИАМ. М.: ЦИАМ, 1975. № 679.
2. Кривошеев И.А., Рожков К.Е., Рахманкулов Д.Я., Симонов Н.Б. Анализ экспериментальных данных по продувкам решеток профилей и разработка методов расчета их характеристик: Уфа : УГАТУ, 2013. № 4 (57).
3. Седунин В.А., Блинов В.Л., Шепелина Я.П. Моделирование физических процессов в турбомашинах - Екатеринбург: УрФУ, 2016. 124 с.